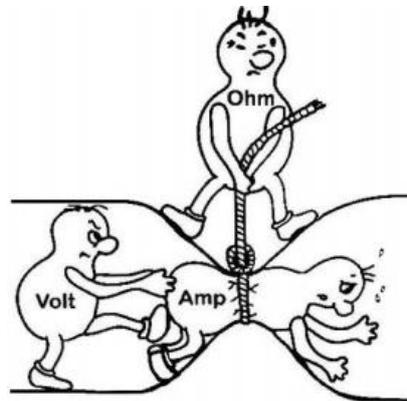


## Eletrodinâmica

### Resumo



**Luminárias, sistemas de som, aparelhos de micro-ondas, computadores e celulares** são alguns dos dispositivos importantes do nosso dia a dia. Eles são conectados por fios ou por circuito interno a uma bateria ou a uma rede elétrica. O que acontece dentro do fio que faz com que a luz acenda? E por que isso ocorre? Dizemos que “a eletricidade flui através do fio”, mas o que tal afirmação significa exatamente? E, igualmente importante, como nós sabemos o que ocorre? Simplesmente olhar para um fio ligado entre uma bateria e uma lâmpada de filamento não nos diz se alguma coisa se move ou flui. Tanto quanto podemos observar visualmente, o fio tem a mesma aparência esteja ele “conduzindo eletricidade” ou não. Nosso objetivo é recordar acerca da corrente elétrica. Queremos entender o que é que se move através de um fio portador de corrente, e por quê.

Mas, antes, para poder solucionar problemas de circuito é necessário conhecer as definições essenciais, as grandezas envolvidas e suas unidades.

### Corrente elétrica

Uma corrente elétrica é um movimento ordenado de cargas elétricas. Um circuito condutor isolado, como na Fig. 1a, está todo a um mesmo potencial e  $E = 0$  no seu interior. Nenhuma força elétrica resultante atua sobre os elétrons de condução disponíveis, logo não há nenhuma corrente elétrica. A inserção de uma bateria no circuito (Fig. 1b) gera um campo elétrico dentro do condutor. Este campo faz com que as cargas elétricas se movam ordenadamente, constituindo assim uma **corrente elétrica**.

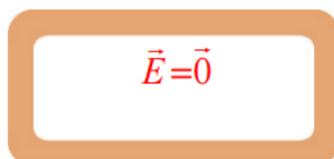


Fig. 1a

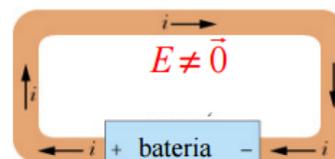
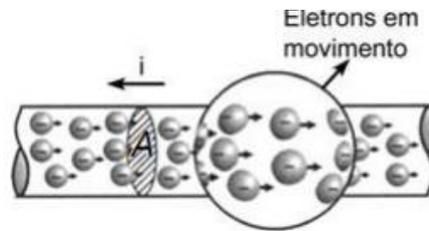


Fig. 1b

Definição: a intensidade de corrente é a quantidade de carga  $\Delta q$  que atravessa um plano em um intervalo de tempo  $\Delta t$ :

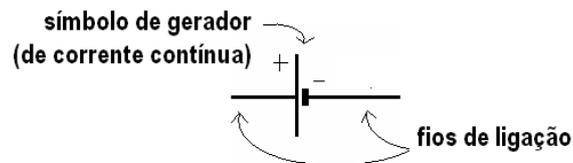
$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

Unidade: C/s = A (ampère).



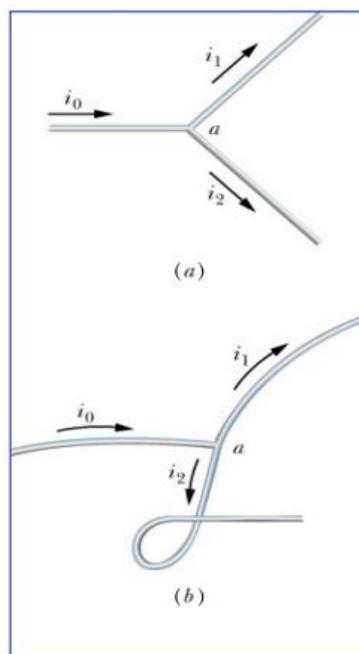
Um fluxo de elétrons (cargas negativas) indo para direita equivale a um fluxo de cargas positivas indo para a esquerda.

A corrente elétrica corresponde ao fluxo de elétrons. Os elétrons vão para o polo positivo de um gerador (pilha ou bateria)



## Corrente elétrica e conservação de carga

a) Correntes, apesar de serem representadas por setas, são escalares.



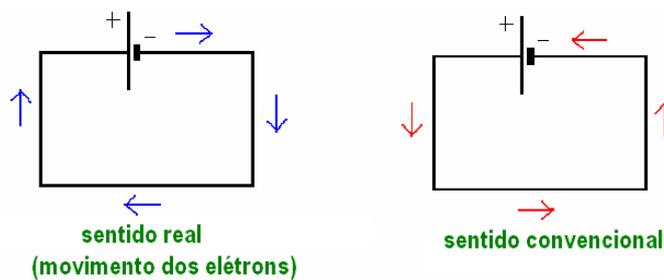
b) Em consequência da conservação da carga, temos:

$$i_0 = i_1 + i_2$$

Essa relação básica de conservação – de que a soma das correntes que entram em um nó deve ser igual à soma das correntes que saem do mesmo nó – é chamada de **lei de Kirchhoff dos nós**.

c) O sentido convencional da corrente é o sentido no qual se moveriam os portadores de carga positiva, mesmo que os verdadeiros portadores de carga sejam negativos.

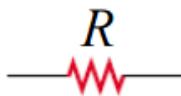
Observe como fica isso num circuito fechado:



Obs.: Corrente contínua: os elétrons vão em um único sentido. Corrente alternada: corresponde a uma corrente que oscila, mudando de sentido com um dado período.

### Resistividade e resistência

Os fios elétricos fornecem o “caminho” para o movimento dos elétrons. O fio ideal não possui resistência, não influencia o circuito. Um fio real oferece resistência à passagem da corrente, já que há colisões constantes entre os elétrons e os átomos que compõem o material do fio, gerando calor. Esse processo em que a corrente elétrica gera calor é chamado de **efeito Joule** (energia elétrica se transformando em energia térmica). Na prática, um material cuja função é oferecer uma resistência específica em um circuito é chamado de resistor (veja figura abaixo) e seu símbolo em circuitos é:



Em um condutor cilíndrico como num fio, a resistência depende da área  $A$  da seção transversal, do comprimento  $L$  e de um parâmetro  $\rho$  (resistividade) característico de cada material:

$$R = \frac{\rho L}{A}$$

**Unidades**

Grandeza	Unidade (S.I.)
Resistência	$\Omega$ (ohm)
Área	$m^2$
Comprimento	m
Resistividade	$\Omega.m$

A resistência de um fio ou de um condutor aumenta à medida que seu comprimento aumenta. Isto parece plausível, pois deve ser mais difícil empurrar elétrons através de um fio longo do que através de um fio mais curto. Diminuir a área da seção transversal também aumenta a resistência. De novo, isso parece plausível porque o mesmo campo elétrico pode empurrar mais elétrons em um fio largo do que em um fio fino.

NOTA: É importante saber distinguir entre resistividade e resistência. A resistividade descreve apenas o material, e não, qualquer pedaço particular do mesmo. A resistência caracteriza um pedaço específico do condutor, dotada de uma geometria específica. A relação entre a resistividade e a resistência é análoga àquela entre a densidade e a massa.

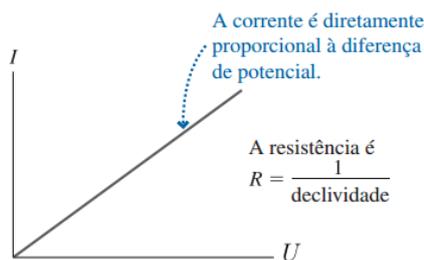
A tensão elétrica ou voltagem ( $U$ ) é a energia fornecida por unidade de carga. Esta voltagem, chamada de diferença de potencial (ddp) elétrico, é que fornece energia a cada elétron, obedecendo a seguinte relação, conhecida como Lei de Ohm:

$$U = Ri$$

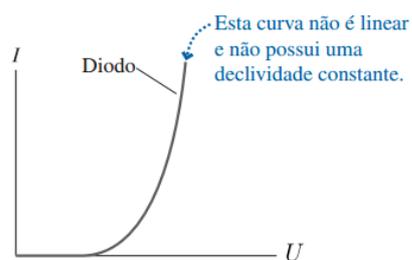
**A despeito do seu nome, a lei de Ohm não é uma lei da natureza. Sua validade é limitada aos materiais cuja resistência  $R$  permanece constante – ou muito próximo disso – durante o uso.** Materiais para os quais a lei de Ohm é válida são chamados de ôhmicos.

A figura (a) mostra que a corrente através de um material ôhmico é diretamente proporcional à diferença de potencial aplicada. Dobrar a diferença de potencial dobrará a corrente. Metais e outros condutores são materiais ôhmicos.

(a) Material ôhmico.



(b) Materiais não-ôhmicos



Alguns materiais e dispositivos são não-ôhmicos, o que significa que a corrente através do mesmo não é diretamente proporcional à diferença de potencial aplicada. Por exemplo, a figura (b) mostra o gráfico *I versus U* para um dispositivo semiconductor comumente usado chamado de *diódo*. Os diodos não possuem uma resistência constante.

## Energia Elétrica

O gasto da energia elétrica está associada à potência dos aparelhos e ao tempo em que estes ficam ligados. A potência é a razão entre a energia e o intervalo de tempo.

$$Pot = \frac{Energia}{\Delta t}$$

$$Energia = Pot \cdot \Delta t$$

A conta de luz é medida em kWh (quilowatt-hora) e representa a potência (kW) e o tempo de funcionamento do aparelho (hora).

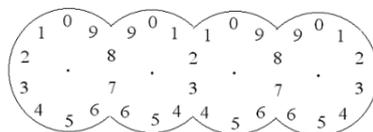
$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ Wh} = 1000 \text{ (J/s)} \times 3600 \text{ s} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$$

Um kWh é equivalente a  $3,6 \times 10^6 \text{ J}$

Um relógio de luz residencial é o responsável pela cobrança de sua conta de luz. Ele registra a utilização da energia elétrica de uma casa.

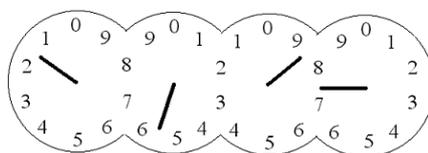
Você pode facilmente medir o valor indicado pelo relógio.

O relógio de luz possui esta configuração.



Este desenho pode ser encontrado nas contas residenciais. Relógios mais modernos possuem contadores/mostradores com números sequenciais e apresentam leituras maiores do que 5 dígitos. Relógios mais antigos possuem apenas 4 mostradores e precisam de um fator multiplicativo de 10.

Os valores devem ser lidos sempre pelo menor número onde está situado o ponteiro.



No exemplo acima o relógio marca: 1587.

## Potência

A potência resulta do produto da diferença de potencial (U) pela corrente elétrica (i).

Assim,  $Pot = Ui$ .

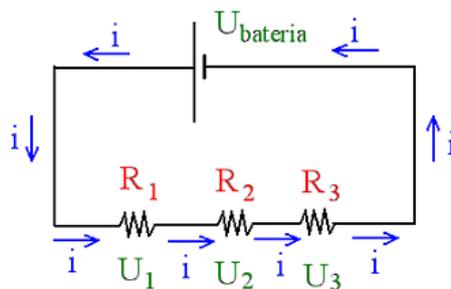
Pela Lei de Ohm,  $U = Ri$ . Temos então que

$$Pot = Ui = Ri^2 = \frac{U^2}{R}$$

## Associação de Resistores

### Série

- Resistores percorridos pela mesma corrente;
- A diferença de potencial do circuito (ddp) é a soma das ddp's individuais de cada resistor.
- A resistência equivalente é a soma das resistências individuais.
- É um circuito com elementos dependentes. Caso um falhe o sistema para de funcionar.

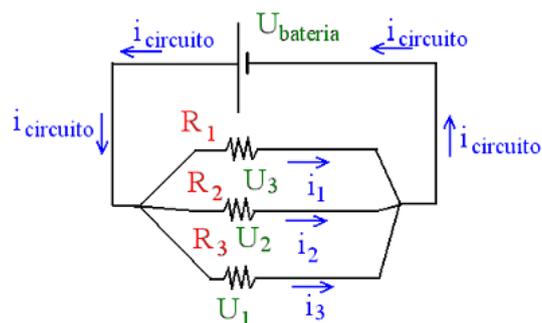


$$R_{Eq} = R_1 + R_2 + R_3$$

$$U_{bateria} = U_1 + U_2 + U_3$$

### Paralelo

- Resistores submetidos a mesma diferença de potencial;
- A soma das intensidades de corrente que chegam no nó é igual a soma das intensidades de corrente que saem do nó.
- O inverso da resistência equivalente é a soma dos inversos das resistências individuais.
- É um circuito independente. Mesmo com a falha de um elemento, os outros podem continuar funcionando.



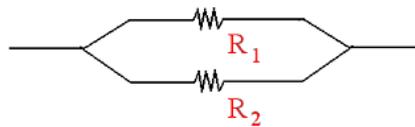
$$U_{\text{bateria}} = U_1 = U_2 = U_3$$

$$i_{\text{circuito}} = i_1 + i_2 + i_3$$

$$\frac{1}{R_{\text{Eq}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

**Obs.:** Alguns casos são comuns na associação em paralelo.

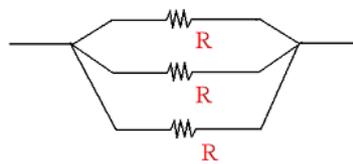
- Associação com apenas 2 resistores: o resultado do M.M.C fornece a fórmula do produto sobre a soma (bastante prática).



Par de resistores

$$R_{\text{equivalente}} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

- Para associação de resistores iguais, deve-se dividir o valor do resistor pelo número de resistores presentes no circuito.



resistores iguais

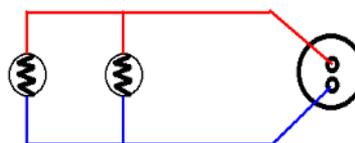
$$R_{\text{equivalente}} = \frac{R}{n}$$

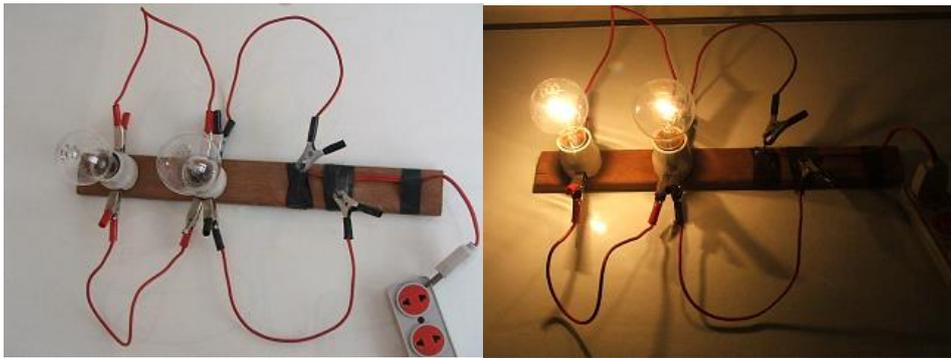
onde n é o número de resistores

Um detalhe sobre associações:

- Lâmpadas em paralelo e em série

Lâmpadas em paralelo recebem a mesma ddp.

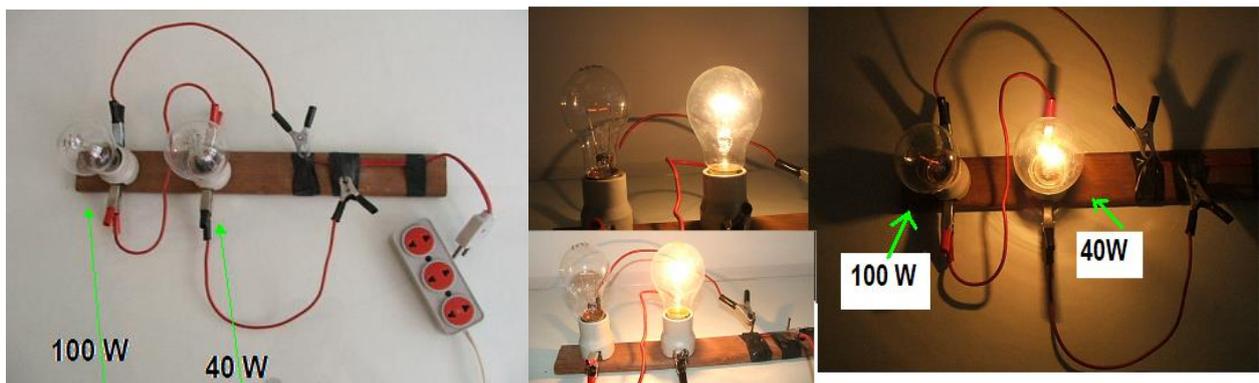
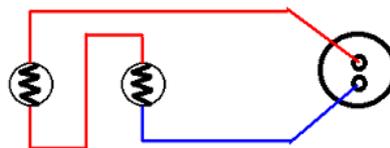




Observe a associação: a lâmpada da esquerda é de 100 W (brilho maior) e a da direita 40 W (brilho menor). Cada lâmpada está com um brilho que corresponde ao funcionamento normal.

**Lâmpadas em série**

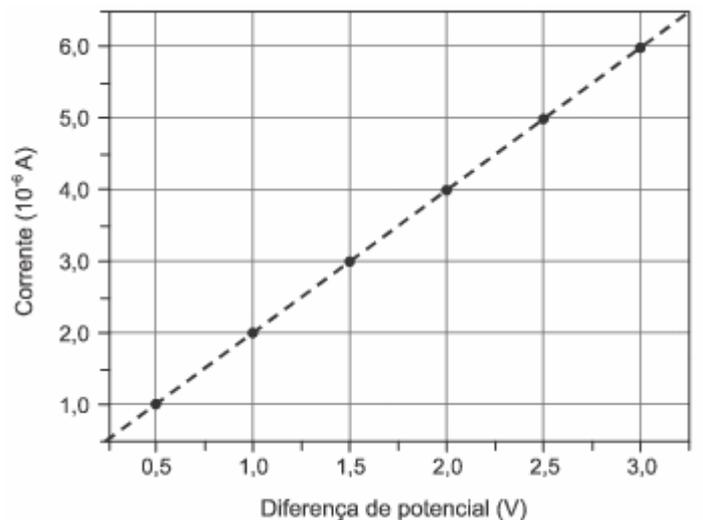
A colocação de lâmpadas em série acarreta mais problemas do que parece. Quando uma lâmpada apaga, todas apagam. Este não é o maior problema. A associação em série provoca um aumento na resistência equivalente que diminui muito a corrente do circuito. Observe:



Observe que a lâmpada de 100W está com menor brilho (filamento incandescente), enquanto que a lâmpada de 40W consegue um brilho razoável.

## Exercícios

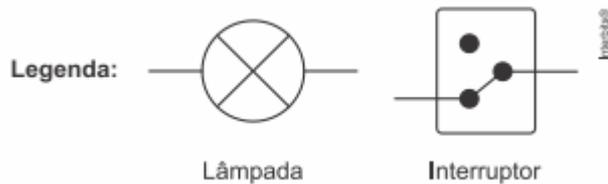
1. (Enem 2017) Dispositivos eletrônicos que utilizam materiais de baixo custo, como polímeros semicondutores, têm sido desenvolvidos para monitorar a concentração de amônia (gás tóxico e incolor) em granjas avícolas. A polianilina é um polímero semicondutor que tem o valor de sua resistência elétrica nominal quadruplicado quando exposta a altas concentrações de amônia. Na ausência de amônia, a polianilina se comporta como um resistor ôhmico e a sua resposta elétrica é mostrada no gráfico.



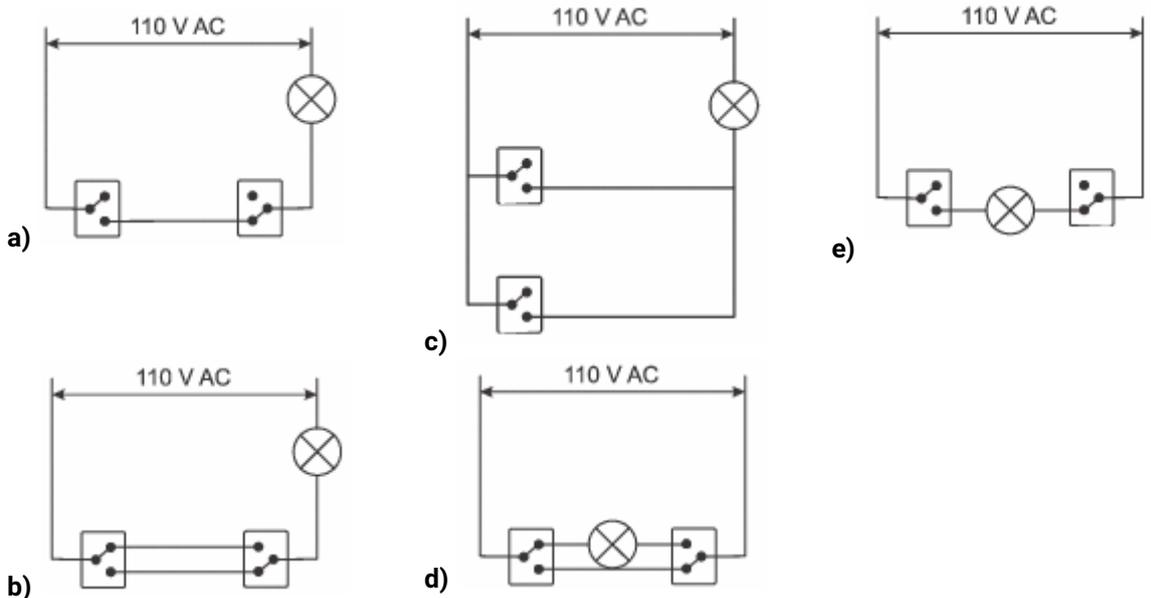
O valor da resistência elétrica da polianilina na presença de altas concentrações de amônia, em ohm, é igual a

- a)  $0,5 \times 10^0$ .
  - b)  $2,0 \times 10^0$ .
  - c)  $2,5 \times 10^5$ .
  - d)  $5,0 \times 10^5$ .
  - e)  $2,0 \times 10^6$ .
2. (Enem 2017) Em algumas residências, cercas eletrificadas são utilizadas com o objetivo de afastar possíveis invasores. Uma cerca eletrificada funciona com uma diferença de potencial elétrico de aproximadamente 10 000 V. Para que não seja letal, a corrente que pode ser transmitida através de uma pessoa não deve ser maior do que 0,01 A. Já a resistência elétrica corporal entre as mãos e os pés de uma pessoa é da ordem de 1000  $\Omega$ . Para que a corrente não seja letal a uma pessoa que toca a cerca eletrificada, o gerador de tensão deve possuir uma resistência interna que, em relação à do corpo humano, é
- a) praticamente nula.
  - b) aproximadamente igual.
  - c) milhares de vezes maior.
  - d) da ordem de 10 vezes maior.
  - e) da ordem de 10 vezes menor.

3. (Enem (Libras) 2017) Durante a reforma de sua residência, um casal decidiu que seria prático poder acender a luz do quarto acionando um interruptor ao lado da porta e apagá-la com outro interruptor próximo à cama. Um eletrotécnico explicou que esse sistema usado para controlar uma lâmpada a partir de dois pontos é conhecido como circuito de interruptores paralelos.



Como deve ser feita a montagem do circuito da lâmpada no quarto desse casal?

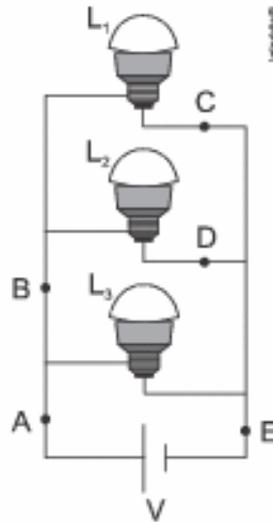


4. (Enem PPL 2017) Uma lâmpada é conectada a duas pilhas de tensão nominal 1,5 V, ligadas em série. Um voltímetro, utilizado para medir a diferença de potencial na lâmpada, fornece uma leitura de 2,78 V e um amperímetro indica que a corrente no circuito é de 94,2 mA.

O valor da resistência interna das pilhas é mais próximo de

- a) 0,021  $\Omega$ .
- b) 0,22  $\Omega$
- c) 0,26  $\Omega$
- d) 2,3  $\Omega$
- e) 29  $\Omega$

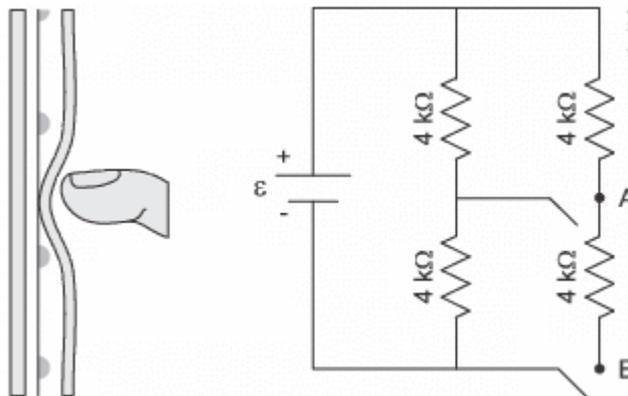
5. (Enem 2016) Três lâmpadas idênticas foram ligadas no circuito esquematizado. A bateria apresenta resistência interna desprezível, e os fios possuem resistência nula. Um técnico fez uma análise do circuito para prever a corrente elétrica nos pontos: A, B, C, D e E; e rotulou essas correntes de  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$ ,  $I_D$  e  $I_E$ , respectivamente.



O técnico concluiu que as correntes que apresentam o mesmo valor são

- a)  $I_A = I_E$  e  $I_C = I_D$ .
  - b)  $I_A = I_B = I_E$  e  $I_C = I_D$ .
  - c)  $I_A = I_B$ , apenas.
  - d)  $I_A = I_B = I_E$ , apenas.
  - e)  $I_C = I_B$ , apenas.
6. (Enem 2ª aplicação 2016) Um electricista deve instalar um chuveiro que tem as especificações 220 V – 4 400 W a 6 800 W. Para a instalação de chuveiros, recomenda-se uma rede própria, com fios de diâmetro adequado e um disjuntor dimensionado à potência e à corrente elétrica previstas, com uma margem de tolerância próxima de 10%. Os disjuntores são dispositivos de segurança utilizados para proteger as instalações elétricas de curtos-circuitos e sobrecargas elétricas e devem desarmar sempre que houver passagem de corrente elétrica superior à permitida no dispositivo.
- Para fazer uma instalação segura desse chuveiro, o valor da corrente máxima do disjuntor deve ser
- a) 20A.
  - b) 25A.
  - c) 30A.
  - d) 35A.
  - e) 40A.

7. (Enem 2015) A rede elétrica de uma residência tem tensão de 110 V e o morador compra, por engano, uma lâmpada incandescente com potência nominal de 100 W e tensão nominal de 220 V. Se essa lâmpada for ligada na rede de 110 V, o que acontecerá?
- A lâmpada brilhará normalmente, mas como a tensão é a metade da prevista, a corrente elétrica será o dobro da normal, pois a potência elétrica é o produto de tensão pela corrente.
  - A lâmpada não acenderá, pois ela é feita para trabalhar apenas com tensão de 220 V, e não funciona com tensão abaixo desta.
  - A lâmpada irá acender dissipando uma potência de 50 W, pois como a tensão é metade da esperada, a potência também será reduzida à metade.
  - A lâmpada irá brilhar fracamente, pois com a metade da tensão nominal, a corrente elétrica também será menor e a potência dissipada será menos da metade da nominal.
  - A lâmpada queimará, pois como a tensão é menor do que a esperada, a corrente será maior, ultrapassando para o qual o filamento foi projetado.
8. (Enem 2018) Muitos *smartphones* e *tablets* não precisam mais de teclados, uma vez que todos os comandos podem ser dados ao se pressionar a própria tela. Inicialmente essa tecnologia foi proporcionada por meio das telas resistivas, formadas basicamente por duas camadas de material condutor transparente que não se encostam até que alguém as pressione, modificando a resistência total do circuito de acordo com o ponto onde ocorre o toque. A imagem é uma simplificação do circuito formado pelas placas, em que A e B representam pontos onde o circuito pode ser fechado por meio do toque.



Qual é a resistência equivalente no circuito provocada por um toque que fecha o circuito no ponto A?

- 1,3 kΩ
- 4,0 kΩ
- 6,0 kΩ
- 6,7 kΩ
- 12,0 kΩ

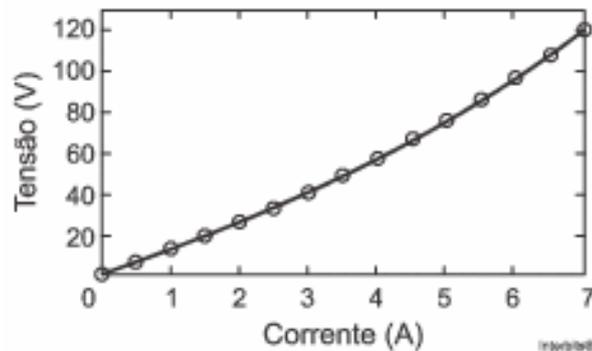
9. (Enem PPL 2018) Ao dimensionar circuitos elétricos residenciais, é recomendado adequadamente bitolas dos fios condutores e disjuntores, de acordo com a intensidade da corrente elétrica demandada. Esse procedimento é recomendado para evitar acidentes na rede elétrica. No quadro é especificada a associação para três circuitos distintos de uma residência, relacionando tensão no circuito, bitolas de fios condutores e a intensidade da corrente elétrica máxima suportada pelo disjuntor.

Dimensionamento – Circuito residencial				
Identificação	Tensão (volt)	Bitola do fio (mm <sup>2</sup> )	Disjuntor máximo (A)	Equipamento a ser ligado (W)
Circuito 1	110	2,5	20	4.200
Circuito 2	220	2,5	20	4.200
Circuito 3	220	6,0	35	6.600

Com base no dimensionamento do circuito residencial, em qual(is) do(s) circuito(s) o(s) equipamento(s) é(estão) ligado(s) adequadamente?

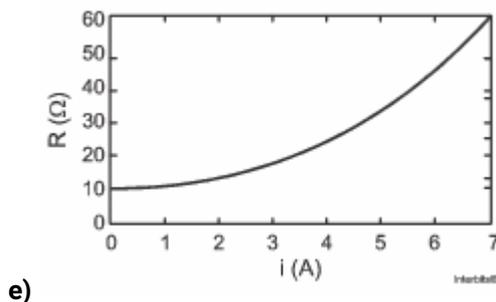
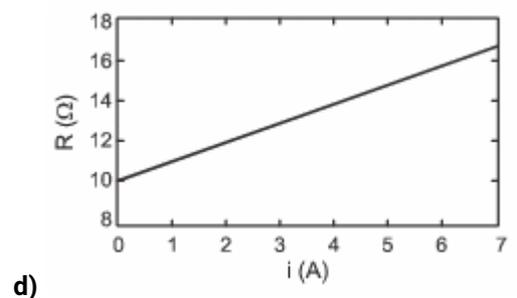
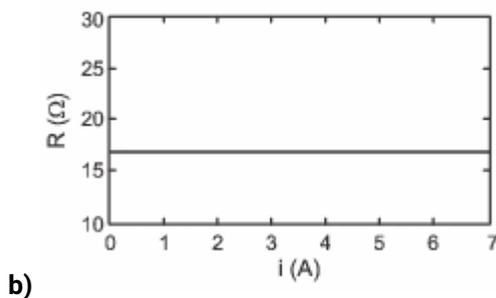
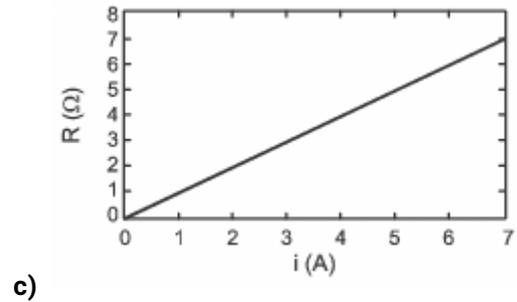
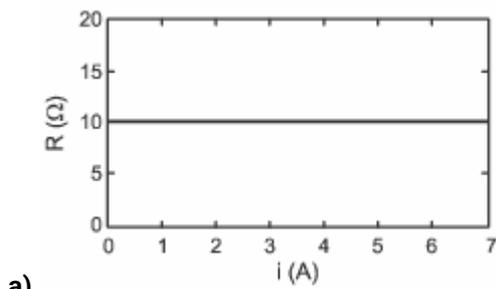
- a) Apenas no Circuito 1.
- b) Apenas no Circuito 2.
- c) Apenas no Circuito 3.
- d) Apenas nos Circuitos 1 e 2.
- e) Apenas nos Circuitos 2 e 3.

10. (Enem 2018) Ao pesquisar um resistor feito de um novo tipo de material, um cientista observou o comportamento mostrado no gráfico tensão versus corrente.



Após a análise do gráfico, ele concluiu que a tensão em função da corrente é dada pela equação  $V = 10i + i^2$ .

O gráfico da resistência elétrica ( $R$ ) do resistor em função da corrente ( $i$ ) é:



Gabarito

1. E

Escolhendo o ponto (1, 2) do gráfico, temos:

$$r = \frac{U}{i} = \frac{1}{2 \cdot 10^{-6}} \Rightarrow r = 0,5 \cdot 10^6 \Omega$$

Como a resistência quadruplica nas condições dadas, obtemos:

$$R = 4r = 4 \cdot 0,5 \cdot 10^6$$

$$\therefore R = 2 \cdot 10^6 \Omega$$

2. C

Sendo  $r$  o valor da resistência interna do gerador, pela 1ª Lei de Ohm, temos que:

$$V = (r + R)i$$

$$10000 = (r + 1000)0,01$$

$$r = 999000 \Omega = 10^6 \Omega$$

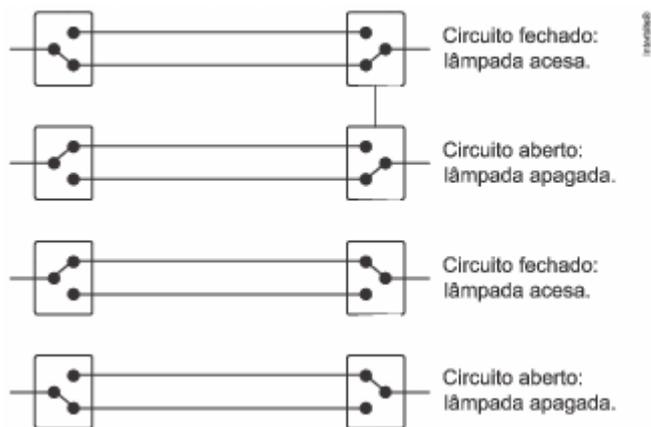
Em relação à do corpo humano:

$$\frac{r}{R} = \frac{10^6}{10^3} = 10^3$$

Ou seja, o valor da resistência deve ser cerca de 1000 vezes maior.

3. B

A figura mostra as quatro posições possíveis, ilustrando o funcionamento do sistema.



4. D

Tensão equivalente das pilhas em série:  
 $1,5 \text{ V} + 1,5 \text{ V} = 3 \text{ V}.$

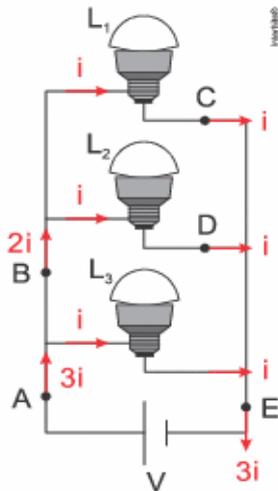
Queda de tensão devido à resistência interna das pilhas:  
 $3 \text{ V} - 2,78 \text{ V} = 0,22 \text{ V}.$

Portanto, o valor da resistência interna das pilhas é de:

$$r = \frac{0,22 \text{ V}}{94,2 \text{ mA}} \therefore r \cong 2,3 \Omega$$

5. A

As três lâmpadas estão em paralelo. Como são idênticas, são percorridas pela mesma corrente,  $i$ .  
 A figura mostra a intensidade da corrente elétrica em cada lâmpada e nos pontos destacados.



De acordo com a figura:

$$I_A = 3i; I_B = 2i; I_C = i; I_D = i \text{ e } I_E = 3i.$$

Portanto:

$$I_A = I_E \text{ e } I_C = I_D.$$

6. D

Calculando a corrente para potência máxima de  $6.800 \text{ W}$  :

$$P = Ui \Rightarrow i = \frac{P}{U} = \frac{6.800}{220} = 30,9 \text{ A}.$$

Considerando a margem de tolerância de  $10\%$ , a corrente máxima do disjuntor deve ser:

$$i_{\text{máx}} = 1,1i = 1,1 \times 30,9 \Rightarrow i_{\text{máx}} = 34 \text{ A}.$$

Adotando o valor imediatamente acima:

$$i_{\text{máx}} = 35 \text{ A}.$$

7. D

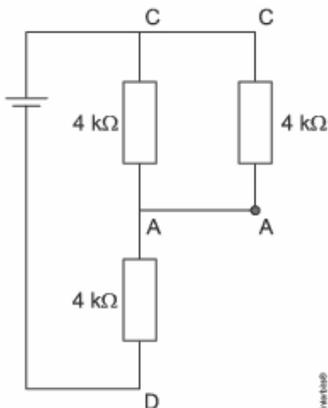
Supondo que a resistência da lâmpada permaneça constante, tem-se:

- Da 1ª Lei de Ohm:  $U = Ri \Rightarrow i = \frac{U}{R}$ . Se a tensão de operação é metade da nominal, a corrente de operação é menor, também igual à metade da nominal.

- Quanto à potência:  $P = \frac{U^2}{R}$ . Se a tensão de operação é metade da nominal a potência de operação é  $\frac{1}{4}$  da potência nominal (menos que a metade) e a lâmpada irá brilhar mais fracamente.

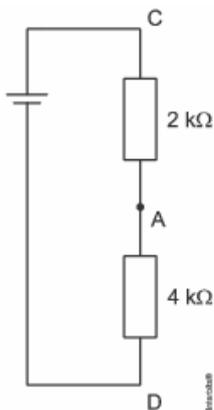
8. C

Caso o circuito seja fechado apenas no ponto A, teremos a seguinte configuração:



O ramo ABD seria aberto, e a resistência equivalente entre C e A ficaria:

$$R_{CA} = \frac{4 \text{ k}\Omega \cdot 4 \text{ k}\Omega}{4 \text{ k}\Omega + 4 \text{ k}\Omega} = 2 \text{ k}\Omega$$



Com os dois resistores restantes em série, podemos calcular a resistência equivalente do circuito:

$$R_{eq} = 2 \text{ k}\Omega + 4 \text{ k}\Omega$$

$$\therefore R_{eq} = 6 \text{ k}\Omega$$

## 9. E

Calculando a corrente em cada circuito:

$$P = Ui \Rightarrow i = \frac{P}{U} \begin{cases} i_1 = \frac{4200}{110} \Rightarrow i_1 = 38,2\text{A.} \\ i_2 = \frac{4200}{220} \Rightarrow i_2 = 19,1\text{A.} \\ i_3 = \frac{6600}{220} \Rightarrow i_3 = 30,0\text{A.} \end{cases}$$

Pelos cálculos, conclui-se que somente nos circuitos (2) e (3) os disjuntores têm correntes máximas compatíveis com os valores obtidos.

## 10. D

Substituindo a equação da tensão dada na equação da 1ª Lei de Ohm, temos:

$$R = \frac{V}{i} = \frac{10 + i^2}{i}$$
$$\therefore R = 10 + i$$

Portanto, o gráfico que representa a resistência elétrica do resistor deve ser uma reta inclinada positivamente e que intercepta o eixo vertical no valor de  $10 \Omega$ , sendo correta a alternativa [D].